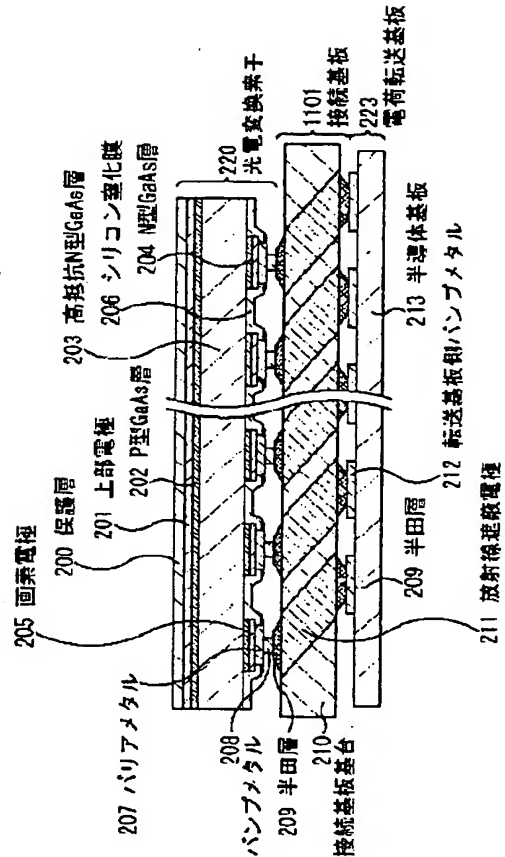


# Patent Abstracts of Japan

TITLE : RADIOGRAPHIC DETECTOR AND  
METHOD FOR MANUFACTURING  
CONNECTION BOARD THEREFOR



COPYRIGHT: (C)2004,JPO



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 放射線を電気信号に変換する光電変換素子と、  
複数個のトランジスタを備え前記光電変換素子から出力された電気信号を転送して外部に出力する電荷転送基板と、  
前記光電変換素子と前記電荷転送基板との間に配置され、前記光電変換素子から出力された電気信号を前記電荷転送基板まで伝達する複数個の電極を備えた接続手段と、  
を有し、  
前記電荷転送基板の前記複数個のトランジスタが形成された領域の全てが、前記放射線の入射方向から見たときに前記複数個の電極により覆われていることを特徴とする放射線検出装置。

【請求項 2】 前記複数個の電極は、前記電荷転送基板の厚さ方向に対して傾斜する方向に延びていることを特徴とする請求項 1 に記載の放射線検出装置。

【請求項 3】 前記複数個の電極は、直線部分が等間隔の格子の交点の位置に配置されており、前記放射線の入射方向から前記接続手段を見たときに前記直線部分が延びる方向において隣り合う電極同士が重なり合っていることを特徴とする請求項 2 に記載の放射線検出装置。

【請求項 4】 前記光電変換素子は、一定のピッチ P で形成された複数個の画素電極を有し、  
前記接続手段は、前記電荷転送基板と平行に配置され、厚さが t の板状体であり、  
前記電極の前記板状体の厚さ方向に垂直な断面形状は、半径が r の円であり、  
前記放射線の入射方向と前記電極が延びる方向とがなす角度  $\theta$  は、数式 1 で表される不等式

【数 1】

$$\theta > \tan^{-1} \frac{P-2r}{t}$$

を満たすことを特徴とする請求項 3 に記載の放射線検出装置。

【請求項 5】 前記複数個の電極は、直線部分が等間隔の格子の交点の位置に配置されており、前記放射線の入射方向から前記接続手段を見たときに前記格子の対角線が延びる方向において隣り合う電極同士が重なり合っていることを特徴とする請求項 2 に記載の放射線検出装置。

【請求項 6】 前記光電変換素子は、一定のピッチ P で形成された複数個の画素電極を有し、  
前記接続手段は、前記電荷転送基板と平行に配置され、厚さが t の板状体であり、  
前記電極の前記板状体の厚さ方向に垂直な断面形状は、半径が r の円であり、  
前記放射線の入射方向と前記電極が延びる方向とがなす角度  $\theta$  は、数式 2 で表される不等式

【数 2】

$$\theta > \tan^{-1} \frac{\sqrt{2} \times P - 2r}{t}$$

を満たすことを特徴とする請求項 5 に記載の放射線検出装置。

【請求項 7】 複数個の前記光電変換素子と複数個の電荷転送基板とが互いに接続されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の放射線検出装置。

10 【請求項 8】 前記電極は、放射線を吸収する材料及び放射線を遮蔽する材料からなる群から選択された少なくとも一方の材料を含有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の放射線検出装置。

【請求項 9】 前記光電変換素子は、結晶半導体層を有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の放射線検出装置。

【請求項 10】 前記電荷転送基板は、金属-酸化膜-半導体で構成される複数個のトランジスタを備えた電荷転送回路を有し、前記複数個のトランジスタは、結晶半導体基板上に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の放射線検出装置。

【請求項 11】 放射線を電気信号に変換する光電変換素子と前記光電変換素子から出力された電気信号を転送して外部に出力する電荷転送基板との間に配置され、前記光電変換素子から出力された電気信号を前記電荷転送基板まで伝達する放射線検出装置用接続基板を製造する方法であって、  
平板状のめっき用電極上にレジスト膜を形成する工程と、

30 前記レジスト膜にその厚さ方向に対して傾斜した方向からマスクを利用して光を照射することにより、感光部を形成する工程と、  
前記レジスト膜の現像を行うことにより、前記レジスト膜に開口部を形成する工程と、  
前記開口部内に金属層を埋め込む工程と、  
前記めっき用電極上から前記レジスト膜を除去する工程と、

前記めっき用電極上に前記金属層を取り囲む絶縁材を形成する工程と、  
40 前記金属層及び前記絶縁材と前記めっき用電極とを分離する工程と、  
を有することを特徴とする放射線検出装置用接続基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 被検体を透過した放射線を電気信号に変換して出力する放射線検出装置及び放射線検出装置用接続基板の製造方法に関する。

【0002】

50 【従来の技術】 近年の半導体技術の進歩に伴い、その技

術を応用した放射線機器のデジタル化が進んでいる。このような放射線機器のデジタル化により、従来、フィルム又は紙等を使用して保存していた画像及び医療情報等のアナログ情報をデジタル情報として記録することが可能となっている。また、リアルタイムに画像等の情報を表示したり、遠隔地へ転送したりすることもできるようになっている。更に、近時では、新しい原理及び材料を用いて、より高感度、且つ高性能な装置が開発されている。

【0003】このような放射線機器に組み込まれるX線撮像装置では、従来、蛍光体と感光フィルムとを組み合わせさせて装置が構成されていたが、近時、蛍光体から発せられた光をフォトダイオード等の半導体光センサで検出する方法、又は物質の光電効果を利用してX線を電気信号へ変化する材料を用いる方法等により感度の向上が図られている。

【0004】感度の向上により、患者に照射する線量を少なくすることができ、患者の負担が軽減される。また、従来のX線撮像装置では、静止画撮影と動画撮影とは、個別の装置を使用して行う必要があったが、上述のような半導体光センサで検出する方法及び光電変換を利用する方法を採用したX線撮像装置では、静止画撮影及び動画撮影を1つの装置で行うことが可能である。このため、診断及び検診の効率が向上し、この観点からも患者の負担が軽減される。そこで、このようなX線撮像装置は、医療現場の大きな進歩として期待されている。

【0005】動画撮影が可能なデジタルX線撮像装置は、大別して、間接型とよばれるものと直接型とよばれるものに分類される。図16(a)は、間接型のX線撮像装置を示す模式図、(b)は直接型のX線撮像装置を示す模式図である。

【0006】間接型のX線撮像装置では、図16(a)に示すように、X線100が患者101に照射され、患者101の身体を透過して患者101の身体情報を具備したX線が蛍光体102により可視光103に変換される。この可視光103は光ファイバ104によってフォトダイオード等の半導体光センサ105に伝送され、この半導体光センサ105によって電気信号に変換される。そして、変換により得られた電気信号は、電荷転送回路106を介して解析装置(図示せず)等の外部装置に出力される。

【0007】一方、直接型のX線撮像装置では、図16(b)に示すように、患者107の身体情報を具備したX線100が、光電効果によりX線を電気信号に変換する光電変換素子108により電気信号に変換される。そして、変換により得られた電気信号は、電荷転送回路109を介して解析装置(図示せず)等の外部装置に出力される。光電変換素子108としては、アモルファスセレン( $\alpha$ -Se)等の非結晶材料又はGaAs若しくはSi等の結晶材料に不純物をドーピングした層と金属電

極とを積層してダイオード型の光電変換素子としたもの等が用いられる。

【0008】間接型及び直接型のいずれにおいても、電荷転送回路106又は109としては、MOSトランジスタ等を備えたスイッチング素子及び電気信号を蓄積するためのキャパシタがシリコン基板上に2次元マトリックス状に配置され、更に電気信号増幅用のオペアンプ等が組み込まれたものが用いられる。

【0009】このように、電荷転送回路に結晶シリコンを材料とした電子回路が用いられるのは、高速動作が可能であるからである。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、結晶シリコンを用いた電子回路はX線照射に対して弱いという問題点がある。X線が結晶シリコン中に照射されると、原子同士の結合が切断され、結晶欠陥が誘発される。従って、多量のX線が照射され、トランジスタが形成されている部分で結晶欠陥が多量に発生すると、トランジスタのスイッチング動作の異常が発生し、回路の誤動作及び電子回路の故障が引き起こされるのである。

【0011】このため、何らかの方法でX線が結晶シリコンを用いた電荷転送回路に照射されないようにする必要がある。

【0012】間接型では、光ファイバ104に放射線遮蔽効果を持たせることにより、電荷転送回路106への放射線(X線)の照射を抑制する方法がされている。しかし、この方法では、光ファイバ104に鉛を添加する必要があるため、可視光103が光ファイバ104に吸収されやすくなってしまふ。この結果、X線撮像装置の感度が低下してしまふ。

【0013】一方、直接型では、光電変換素子108と電荷転送回路109との接続に、伝導性があり、且つX線遮蔽に有効な材料を用いることにより、例えば、光電変換素子108と電荷転送回路109とを接続するバンプメタル(図示せず)として、大きく長いものを使用することにより、感度を低下させずに遮蔽能力を向上させることができる。しかし、バンプメタルを全面に形成することはできず、電荷転送回路109のバンプメタルが形成されていない部分にはX線が照射されてしまふ。このため、トランジスタを形成することが可能な領域が、バンプメタル直下の領域に限定されるという制限が課せられる。

【0014】本発明は、かかる問題点を鑑みてなされたものであって、設計上の制限を抑制しながらX線照射に対する高い耐性を得ることができる放射線検出装置及び放射線検出装置用接続基板の製造方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本願の第1の発明に係る放射線検出装置は、放射線を電気信号に変換する光電変

換素子と、複数個のトランジスタを備え前記光電変換素子から出力された電気信号を転送して外部に出力する電荷転送基板と、前記光電変換素子と前記電荷転送基板との間に配置され、前記光電変換素子から出力された電気信号を前記電荷転送基板まで伝達する複数個の電極を備えた接続手段と、を有し、前記電荷転送基板の前記複数個のトランジスタが形成された領域の全てが、前記放射線の入射方向から見たときに前記複数個の電極により覆われていることを特徴とする。

【0016】本願の第2の発明に係る放射線検出装置は、上記第1の発明において、前記複数個の電極は、前記電荷転送基板の厚さ方向に対して傾斜する方向に伸びていることを特徴とする。

【0017】本願の第3の発明に係る放射線検出装置は、上記第2の発明において、前記複数個の電極は、直線部分が等間隔の格子の交点の位置に配置されており、前記放射線の入射方向から前記接続手段を見たときに前記直線部分が伸びる方向において隣り合う電極同士が重なり合っていることを特徴とする。

【0018】本願の第4の発明に係る放射線検出装置は、上記第3の発明において、前記光電変換素子は、一定のピッチPで形成された複数個の画素電極を有し、前記接続手段は、前記電荷転送基板と平行に配置され、厚さがtの板状体であり、前記電極の前記板状体の厚さ方向に垂直な断面形状は、半径がrの円であり、前記放射線の入射方向と前記電極が伸びる方向とがなす角度θは、下記数式3で表される不等式を満たすことを特徴とする。

【0019】

【数3】

$$\theta > \tan^{-1} \frac{P-2r}{t}$$

【0020】本願の第5の発明に係る放射線検出装置は、上記第2の発明において、前記複数個の電極は、直線部分が等間隔の格子の交点の位置に配置されており、前記放射線の入射方向から前記接続手段を見たときに前記格子の対角線が伸びる方向において隣り合う電極同士が重なり合っていることを特徴とする。

【0021】本願の第6の発明に係る放射線検出装置は、上記第5の発明において、前記光電変換素子は、一定のピッチPで形成された複数個の画素電極を有し、前記接続手段は、前記電荷転送基板と平行に配置され、厚さがtの板状体であり、前記電極の前記板状体の厚さ方向に垂直な断面形状は、半径がrの円であり、前記放射線の入射方向と前記電極が伸びる方向とがなす角度θは、下記数式4で表される不等式を満たすことを特徴とする。

【0022】

【数4】

$$\theta > \tan^{-1} \frac{\sqrt{2 \times P - 2r}}{t}$$

【0023】本願の第7の発明に係る放射線検出装置は、上記第1乃至第6の発明のいずれかにおいて、複数個の前記光電変換素子と複数個の電荷転送基板とが互いに接続されていることを特徴とする。

【0024】本願の第8の発明に係る放射線検出装置は、上記第1乃至第7の発明のいずれかにおいて、前記電極は、放射線を吸収する材料及び放射線を遮蔽する材料からなる群から選択された少なくとも一方の材料を含有することを特徴とする。

【0025】本願の第9の発明に係る放射線検出装置は、上記第1乃至第8の発明のいずれかにおいて、前記光電変換素子は、結晶半導体層を有することを特徴とする。

【0026】本願の第10の発明に係る放射線検出装置は、上記第1乃至第9の発明のいずれかにおいて、前記電荷転送基板は、金属-酸化膜-半導体で構成される複数個のトランジスタを備えた電荷転送回路を有し、前記複数個のトランジスタは、結晶半導体基板上に形成されていることを特徴とする。前記金属は前記トランジスタの電極となり、前記酸化膜は半導体酸化物であって前記トランジスタの誘電体層となる。

【0027】本願の第11の発明に係る放射線検出装置用接続基板の製造方法は、放射線を電気信号に変換する光電変換素子と前記光電変換素子から出力された電気信号を転送して外部に出力する電荷転送基板との間に配置され、前記光電変換素子から出力された電気信号を前記電荷転送基板まで伝達する放射線検出装置用接続基板を製造する方法であって、平板状のめっき用電極上にレジスト膜を形成する工程と、前記レジスト膜にその厚さ方向に対して傾斜した方向からマスクを利用して光を照射することにより、感光部を形成する工程と、前記レジスト膜の現像を行うことにより、前記レジスト膜に開口部を形成する工程と、前記開口部内に金属層を埋め込む工程と、前記めっき用電極上から前記レジスト膜を除去する工程と、前記めっき用電極上に前記金属層を取り囲む絶縁材を形成する工程と、前記金属層及び前記絶縁材と前記めっき用電極とを分離する工程と、を有することを特徴とする。

【0028】なお、本願明細書における光電変換には、光線の電気信号への変換だけでなく、X線等の放射線の電気信号への変換も含まれるものとする。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態に係る放射線検出装置及び放射線検出装置用基板の製造方法について添付の図面を参照して具体的に説明する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の構造を示す断面図である。

【0030】第1の実施形態においては、図1に示すように、光電変換素子220と電荷転送基板223との間に接続基板1101が設けられている。

【0031】光電変換素子220の構成は次のようになっている。N型の高抵抗GaAs基板203上に、例えば有機金属気層堆積法(MOCVD法)等によりP型GaAs層202が形成されている。P型GaAs層202上に、例えばAu又はAu合金からなり、P型GaAs層202に電圧を印加するための電極として上部電極201が形成されている。上部電極201上に上部電極201を保護する保護層200が形成されている。高抵抗GaAs基板203の抵抗率は、例えば $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度である。また、保護層200は、例えば窒化シリコン膜又は絶縁性樹脂膜から構成される。

【0032】更に、高抵抗GaAs基板203の下には、例えば有機金属気層堆積法(MOCVD法)等によりN型GaAs層204が選択的に形成されている。N型GaAs層204の下には、例えばスパッタリングによりAu膜等の金属膜からなる画素電極205が形成されている。また、高抵抗GaAs基板203の下には、画素電極205が露出する開口部が開口されたシリコン窒化膜(SiN<sub>x</sub>)206が、例えば化学気層堆積法(CVD法)により形成されている。そして、シリコン窒化膜206の開口部内に、バリアメタル207が画素電極205に接続されるようにして埋め込まれている。バリアメタル207は、バンプ208を形成するためのものであり、例えばTi膜、Pd膜及びAu膜を順次画素電極205上にスパッタリングにより積層して形成することができる。バリアメタル207の下には、例えばメッキ処理によりバンプメタル208が形成されている。バンプメタル208は、例えばAu製である。

【0033】接続基板1101には、例えば絶縁性の樹脂等からなる接続基板基台210が設けられている。接続基板基台210には、平面視で等間隔の格子の交点に一致する位置に複数の開口部が形成されている。これらの開口部は、その厚さ方向、即ちX線の入射方向に対して傾斜する方向であって、互いに同一の方向に延びている。そして、前記格子の直線部分が延びる方向において隣り合う開口部同士が、平面視で互いに重なり合っている。これらの開口部は接続基板基台210の表裏面間を貫通しており、これらの開口部内に放射線遮蔽電極211が埋め込まれている。従って、平面視で、格子の直線部分が延びる方向において隣り合う放射線遮蔽電極211同士が重なり合っている。各放射線遮蔽電極211の両端には、半田層209が形成されている。光電変換素子220側に位置する半田層209は、バンプメタル208を介してバリアメタル207に接続されている。放射線遮蔽電極211の材料は、特に限定されるものではないが、例えば鉛を使用することが望ましい。他の金属材料を使用する場合には、接続基板1101及び放射

線遮蔽電極211の厚さを厚くすることにより、放射線をより遮蔽することが望ましい。

【0034】電荷転送基板223には、シリコン基板等の半導体基板213が設けられている。半導体基板213の表面には、例えば電荷転送のためのスイッチング素子としての複数のMOSトランジスタ(金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ、図示せず)等が設けられた電荷転送回路(図示せず)が形成されている。半導体基板213上には、電荷転送回路に電気信号を入力するためのバンプメタル212が形成されている。バンプメタル212は、例えばAu製であり、接続基板1101の電荷転送基板223側の半田層209に接続されている。電荷転送回路は、バンプメタル212から信号が入力されると、内部で転送して出力端子(図示せず)から解析装置等の外部装置にその信号を出力する。

【0035】このように構成された本実施形態の放射線検出装置においては、上部電極210に電圧が印加された状態で高抵抗N型GaAs層203にX線が入射すると、そのX線が光電変換素子220によって電気信号に変換され、画素電極205から出力される。画素電極205から出力された信号は接続基板1101内の放射線遮蔽電極211を介してバンプメタル212から電荷転送回路に入力される。その後、電荷転送回路に入力された信号は、電荷転送回路内で転送された後、外部に出力される。つまり、本実施形態の放射線検出装置(光電変換装置)は、X線撮像装置として機能する。

【0036】また、高抵抗N型GaAs層203に入射したX線1は、図2に示すように、光電変換素子220を貫通して接続基板1101まで到達するが、上述のように、平面視で、入射方向から傾斜した方向において隣り合う放射線遮蔽電極211同士が重なり合っているため、電荷転送回路のほとんどの領域にX線1は到達しない。つまり、X線1の透過が放射線遮蔽電極211により遮蔽される。従って、このようなX線1が透過して来ない領域内であれば、電荷転送回路のMOSトランジスタは、どこに形成してもX線照射による損傷を受けずに済む。

【0037】次に、放射線遮蔽電極が延びる方向が放射線入射方向から傾斜する角度(以下、傾斜角度という。)の範囲について説明する。上述のように、平面視で、格子の直線部分が延びる方向において隣り合う放射線遮蔽電極211同士が重なり合うようにするためには、例えば、図3に示す例では、放射線遮蔽電極12の左端Q2が放射線遮蔽電極11の右端Q1よりも左側にある必要がある。この条件を満たす傾斜角度 $\theta$ の範囲は、放射線遮蔽電極の放射線入射方向に垂直な断面形状が円であり、接続基板の厚さを $t$ 、放射線遮蔽電極の半径を $r$ 、画素ピッチを $P$ とすると、下記数式5で表される。

【0038】

【数5】

$$\tan \theta > \frac{P-2r}{t}$$

$$\theta > \tan^{-1} \frac{P-2r}{t}$$

【0039】なお、画素ピッチとは、画素電極のピッチであり、放射線遮蔽電極の中心間隔と一致するものである。なお、放射線遮蔽電極同士の重なり程度が大きいほど、放射線がより均一に遮蔽されるようになる。

【0040】次に、第1の実施形態に係る放射線検出装置を製造する方法について説明する。図4及び図5は、本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の光電変換素子220を製造する方法を工程順に示す断面図である。また、図6及び図7は、図4及び図5は、本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の接続基板1101を製造する方法を工程順に示す断面図である。なお、図4(a)乃至(c)及び図5(a)乃至(c)では、構造を分かりやすくするために、上下を反転させて図示している。

【0041】光電変換素子202を製造する際には、まず、図4(a)に示すように、高抵抗N型GaAs基板203上に、例えばMOCVD法によりN型GaAs層204を堆積する。次いで、N型GaAs層204上に、例えばスパッタリングによりAu膜205aを蒸着させる。N型GaAs層204の厚さは、例えば300Å程度であり、Au膜205aの厚さは、例えば1μm程度である。

【0042】続いて、図4(b)に示すように、リソグラフィ技術を採用してN型GaAs層204及びAu膜205aをエッチングすることにより、画素電極205

【0043】続いて、図4(c)に示すように、高抵抗N型GaAs層203の画素電極205が形成された側の全面に、N型GaAs層204及び画素電極205を保護する目的で、シリコン窒化膜206を、例えばCVD法により堆積する。シリコン窒化膜206の厚さは、例えば1μm程度である。

【0044】続いて、図4(d)に示すように、高抵抗N型GaAs層203の画素電極205が形成されていない側の全面に、例えばMOCVD法によりP型GaAs層202を堆積する。次いで、P型GaAs層202上に、例えばスパッタリングによりAu膜を上部電極201として蒸着させる。更に、上部電極201上に、例えばCVD法によりシリコン窒化膜を保護層200として堆積する。P型GaAs層202の厚さは、例えば3000Å程度であり、上部電極201の厚さは、例えば1μm程度であり、保護層200の厚さは、例えば1μm程度である。

【0045】続いて、図5(a)に示すように、リソグラフィ技術を採用して画素電極205が形成されている

側のシリコン窒化膜206をエッチングすることにより、画素電極205まで到達する開口部をシリコン窒化膜206に形成する。

【0046】続いて、図5(b)に示すように、Ti膜、Pd膜及びAu膜(図示せず)をシリコン窒化膜206の開口部内において画素電極205上に順次堆積することにより、バリアメタル207を形成する。

【0047】続いて、図5(c)に示すように、例えばメッキ処理により金のバンプメタル208をバリアメタル207上に形成する。

【0048】このような方法により、光電変換素子220を製造することができる。光電変換素子220の形状は、例えば直径が4インチ(約6.28cm)のGaAs半導体基板(ウェハ)を使用する場合、一辺の長さが68mm大の正方形とすることができる。また、光電変換素子220の厚さは、例えば600μmである。また、画素ピッチを160μmとして設計すると、1個の光電変換素子の画素数は、縦方向及び横方向のいずれの方向においても、400画素程度となる。

【0049】なお、バンプメタル208の径が大きいほど、電荷転送基板との間の接続抵抗を小さくできるが、貼り合わせ時のずれに対するマージンが小さくなる。逆に、バンプメタル208の径が小さいほど、接続抵抗が大きくなる。このため、バンプメタル208の径は、接続抵抗及びずれに対するマージンを考慮して設定することが望ましい。また、バンプメタル208の高さは、貼り合わせの際に用いられる接着剤の塗布厚さから逆算して決定すればよい。

【0050】また、接続基板1101を製造する際には、リソグラフィ技術、メッキ及び樹脂モールドを組み合わせたリガプロセス(リガ法)を採用する。リガプロセスとは、リソグラフィ技術及びメッキを用いて微細な型を作り、セラミック成型又は樹脂のモールドイングによって、微細な部品を形成することをいう。図6及び図7は、本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の接続基板1101を製造する方法を工程順に示す断面図である。まず、図6(a)に示すように、金属板又は少なくとも表面が導電性の板からなるめっき用電極601にレジスト又は感光性樹脂を塗布する。このレジスト又は感光性樹脂は例えばポジ型レジストである。この塗布により形成されたレジスト膜602の厚さは、そのまま接続基板1101の厚さとなるため、放射線遮蔽能力を高くするために、1mmであることが望ましい。次いで、マスク603を使用して、放射線遮蔽電極211の傾斜角度θだけレジスト膜602の厚さ方向から傾斜した方向から光をレジスト膜602に照射してフォトリソグラフィを行う。この結果、図6(b)に示すように、レジスト膜602に感光部602aが形成される。

【0051】続いて、図6(c)に示すように、レジスト膜602の感光部602aを除去する。次いで、図6



(d)に示すように、電極601に対して電界メッキを行うことにより、レジスト膜602が残存していない部分に金属層604を形成する。この金属層604が放射線遮蔽電極211となる。

【0052】続いて、図7(a)に示すように、レジスト膜602を除去する。次に、レジスト膜602が存在していた部分に、絶縁性の樹脂材605を絶縁材として堆積することにより、接続基板基台210を形成する。

【0053】続いて、切断又は研磨により、金属層604(放射線遮蔽電極211)及び樹脂材605(接続基板基台210)から電極601を除去する。

【0054】このような方法により、接続基板1101を製造することができる。

【0055】次に、第1の実施形態における光電変換素子の動作原理について、図8を参照して説明する。本実施形態における光電変換素子220は、図8(a)に示すように、PIN型フォトダイオードを具備している。図8(b)に、上部電極201に電圧が印加されていない平衡状態のバンドダイアグラムを示し、図8(c)に、上部電極201にマイナスの電位が与えられたときのバンドダイアグラムを示す。

【0056】 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度の抵抗率をもつ高抵抗N型GaAs基板203を用いた場合、上部電極201に電圧が印加されていない状態では、図8(b)に示すように、PN接合のビルトイン電圧によって、高抵抗N型GaAs基板203内の電子501はP型GaAs層202へ拡散し、正孔502はN型GaAs層204へ拡散する。このため、高抵抗N型GaAs基板203内に、キャリアが枯渇した層である空乏層503が形成される。この空乏層503では、電子及び正孔の濃度が極めて低いため、光電効果によって発生した電子及び正孔が再結合によって消滅するために必要な時間は極めて長い。しかしながら、PN接合によるビルトイン電圧はせいぜい1V程度であるため、光電効果によって発生した電子及び正孔が消滅する前に、電子501をN型GaAs層204へ移動させるか、又は正孔502をP型GaAs層202へ移動させるために十分なエネルギーを与えることができない。このため、この平衡状態では、X線が照射されても、電気信号が生成されない。

【0057】一方、上部電極201にマイナス電圧が印加されている状態では、図8(c)に示すように、光電効果によって発生した電子501をN型GaAs層204へ移動させ、正孔502をP型GaAs層202へ移動させることが可能となる。このため、光電効果によって発生した電子501及び正孔502から電気信号を取り出すことが可能である。また、光及び放射線が照射されていない状態において光電変換素子220から流れる電流は、空乏層503で熱的に発生したキャリアによるものであり、その大きさは光電効果により発生する電流の大きさと比して極めて小さい。従って、光電変換素子

220は照射された光量に応じた電気信号を発生することができるのである。

【0058】図9は、電荷転送回路の1画素に相当する部分を示す回路図である。光電変換素子700に、光電変換素子700から出力された電気信号の伝送のオン/オフを切り替える転送用トランジスタ701のドレインが接続されている。光電変換素子700と転送用トランジスタ701の間には、接続基板との接続部であるバンプメタルを介した接続部分713が2箇所存在する。光電変換素子700は、図1に示すGaAs基板を用いた光電変換素子220の1画素に相当するものであり、この光電変換素子700には、1個の画素電極205が設けられている。転送用トランジスタ701のゲート線709には、電源(図示せず)から制御電圧 $V_{g1}$ が印加される。転送用トランジスタ701のソースには、ソースフォロアトランジスタ703のゲートが接続されている。ソースフォロアトランジスタ703のソースには、電流源712が接続されており、ソースフォロアトランジスタ703は、ソースフォロアとして動作し、そのゲート電圧に応じた電流を流す。また、ソースフォロアトランジスタ703のゲート電位をリセットするリセットトランジスタ702のドレインが転送用トランジスタ701及びソースフォロアトランジスタ703間に接続されている。リセットトランジスタ702のソースには、リセット電圧( $V_r$ )711が供給される。リセットトランジスタ702のゲート線708には、電源(図示せず)から制御電圧 $V_{g3}$ が印加される。ソースフォロアトランジスタ703のドレインには、画素の信号の転送のオン/オフを切り替える画素選択トランジスタ704が接続されている。画素選択トランジスタ704のゲート線710には、電源(図示せず)から制御電圧 $V_{g2}$ が印加される。また、画素選択トランジスタ704の他端には、信号線705が接続されている。信号線705には、画素毎に設けられた画素選択トランジスタ704が接続されている。更に、光電変換素子700の上部電極706に電圧を印加する電源707が設けられている。なお、図9では、便宜上、光電変換素子700と上部電極706とを個別の構成要素としているが、図1に示すように、第1の実施形態においては、上部電極は光電変換素子の構成要素である。また、図9に示す上部電極706及び電流源712は、各画素に共有されている。

【0059】転送用トランジスタ701及びリセットトランジスタ702は、例えばNチャネルMOSFETから構成され、ソースフォロアトランジスタ703及び画素選択トランジスタ704は、例えばPチャネルMOSFETから構成される。

【0060】次に、光電変換素子700から出力された電気信号の電荷転送回路による読み出し動作について、図10を参照して説明する。図10(a)は、電気信号



の読み出し動作を示す回路図であり、図10(b)は、電気信号の読み出し動作を示すタイミングチャートである。

【0061】まず、転送用トランジスタ701の制御電圧 $V_{g1}$ をロウ(Low)としておく。このため、転送用トランジスタ701はオフ状態となっている。また、リセットトランジスタ702の制御電圧 $V_{g3}$ をハイ(Hi)としておく。このため、リセットトランジスタ702はオン状態となっており、ソースフォロアトランジスタ703のゲートの電位 $V_{gs}$ はリセット電位とな

っている。

【0062】この状態で、放射線(X線)が照射されると、光電変換素子700では、光電効果によって放射線のエネルギー及び放射線の照射時間に比例した電荷が発生する。このとき、転送用トランジスタ701はオフ状態となっているので、転送用トランジスタ701のドレインに電荷が蓄積される。

【0063】X線の照射が終了した後、制御電圧 $V_{g3}$ をロウにすることにより、リセットトランジスタ702をオフ状態とする。また、制御電圧 $V_{g1}$ をハイにすることにより、転送用トランジスタ701をオン状態にする。この結果、光電変換素子700で発生した電荷がソースフォロアトランジスタ703のゲートに転送される。そして、ソースフォロアトランジスタ703から、そのゲートに電荷が蓄積するため、そのゲート電圧 $V_{gs}$ に応じたドレイン電流 $I_{sig}$ が流れる。

【0064】その後、制御電圧 $V_{g2}$ をロウにすることにより、画素選択トランジスタがオン状態となるため、ドレイン電流 $I_s$ が信号線705に流れ、信号電流 $I_{sig}$ を画素の信号として読み出すことが可能となる。

【0065】図11は、図9に示す回路を $3 \times 3$ 画素のマトリックス状に配置した時の構成を示す回路図である。

【0066】画素毎の回路をマトリックス状に配置した場合、制御電圧 $V_{g2}$ が供給されるゲート線710は、横方向に一列に並ぶ各画素間で共通のものとなっている。従って、図11に示す例では、夫々制御電圧 $V_{g2\_1}$ 、 $V_{g2\_2}$ 、 $V_{g2\_3}$ が供給される3本のゲート線が設けられる。これらのゲート線はシフトレジスタ703に接続されている。

【0067】また、制御電圧 $V_{g3}$ が供給されるゲート線708は、制御電圧 $V_{g2}$ と同様、横方向に一列に並ぶ各画素間で共通であり、夫々シフトレジスタ908に接続されている。図11に示す例では、 $V_{g3}$ 電源908に3本のゲート線708が共通接続されており、全画素のリセットトランジスタ702が同時に制御される。

【0068】また、リセット電圧( $V_r$ )711は $V_r$ 電源910から各画素に供給される。制御電圧 $V_{g1}$ が供給されるゲート線709も全ての画素間で共通のものとなっている。図11に示す例では、 $V_{g1}$ 電源909

に3本のゲート線709が共通接続されており、全画素の転送用トランジスタ701が同時に制御される。

【0069】更に、図11に示す例では、電源707として $V_s$ 電源907が設けられている。各画素のソースフォロアトランジスタ703のソースには、電流源712としての電流源911から電流が供給される。また、縦方向に一列に並ぶ各画素間で共通の信号線705として、信号線 $Sig1$ 、 $Sig2$ 及び $Sig3$ が設けられている。そして、信号線 $Sig1$ には、電荷蓄積型のオペアンプ(Amp1)904が接続され、信号線 $Sig2$ には、電荷蓄積型のオペアンプ(Amp2)905が接続され、信号線 $Sig3$ には、電荷蓄積型のオペアンプ(Amp3)906が接続されている。これらのオペアンプ904、905及び906は、各信号線に流れる電流を増幅して電流に比例した電圧を出力する。また、オペアンプ904、905及び906の出力端には、マルチプレクサ901が接続されている。マルチプレクサ901は、オペアンプ904、905及び906から出力された信号をシリアル信号に変換してアナログ-デジタル変換回路(ADC)902に出力する。

【0070】なお、光電変換素子及び上部電極は電荷転送回路に含まれるものではないが、電荷転送回路の構成を理解しやすくするために、便宜上図示している。

【0071】次に、各画素における放射線が具備する情報の読み出し動作について説明する。

【0072】まず、図10に示す動作方法と同様にして、放射線(X線)の照射後に制御電圧 $V_{g3}$ をハイからロウに変化させ、制御電圧 $V_{g1}$ をロウからハイに変化させることにより、放射線が照射されて光電変換素子で発生した電荷を各画素のソースフォロアトランジスタ703のゲートに蓄積する。

【0073】次に、シフトレジスタ903からロウの制御電圧 $V_{g2\_1}$ を出力することにより、画素選択トランジスタ $Tr11$ 、 $Tr12$ 及び $Tr13$ をオン状態にする。これらの画素選択トランジスタ $Tr11$ 、 $Tr12$ 及び $Tr13$ がオン状態になると、これらの画素において蓄積された電荷に応じた電流が信号線 $Sig1$ 、 $Sig2$ 及び $Sig3$ に夫々流れる。そして、オペアンプ904、905及び906が各電流を増幅してマルチプレクサ901に出力する。マルチプレクサ901は入力される信号をシリアル信号に変換してADC902に出力する。ADC902はマルチプレクサ901から入力される各画素の信号をデジタル信号に変換して出力する。続いて、オペアンプ904、905及び906をリセットすることにより、信号線の既容量に蓄積した電荷を消去した後、制御信号 $V_{g2\_1}$ をハイに変化させる。この結果、画素選択トランジスタ $Tr11$ 、 $Tr12$ 及び $Tr13$ がオフ状態となる。

【0074】その後、制御信号 $V_{g2\_2}$ 及び $V_{g2\_3}$ を、上述の動作を繰り返しながら、順次ロウに変化さ

せることにより、トランジスタTr 21乃至Tr 23及びTr 31乃至Tr 33を順次オンさせて、各画素に蓄積された情報を示す電気信号をADC902から出力することができる。

【0075】動画像の情報は、上述の動作を最も上に位置する行内の画素から順に行い、最も下の行内の画素における読み出しが終了した後に、再度最も上の行からの走査を繰り返すことにより、得ることができる。また、この動作とは逆に、最も下の行からの走査を繰り返すことによっても、動画像の情報を得ることができる。

【0076】なお、本発明における画素数は3×3の9画素に限定されるものではない。例えば、一般的なレントゲン撮影を網羅するためには、放射線撮像素子の有効画素領域を40cm×40cm程度とすることが必要である。従って、1画素の面積が160μm<sup>2</sup>である場合には、光電変換素子の画素数を2688×2688とする必要がある。

【0077】電荷転送基板のトランジスタの動作は、動画のフレーム数及び1ラインの画素数に基づいて最適化することが望ましい。例えば、縦方向の走査線数が2688本の放射線検出装置において、1秒間に30フレームを実現する場合、即ち1秒間に30枚の画像情報を取得する場合には、読み出しを行うための時間は、走査線1本当たり12.4μ秒以下とする必要がある。

【0078】また、電荷転送回路のトランジスタの駆動速度は必要なフレーム数に応じて変換することができ、トランジスタの設計はそれに即して行うことが望ましい。また、オペアンプ、マルチプレクサ及びシフトレジスタは、転送用トランジスタ等が形成された基板と同一の基板に形成されていてもよく、他の基板に形成されて転送用トランジスタ等が形成された基板に接続されていてもよい。

【0079】図12は、本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置を複数の光電変換素子及び電荷転送基板に適用した例を示す模式図である。この例では、9個の光電変換素子220からなる光電変換素子群220aと4個の電荷転送基板223からなる電荷転送基板群223aとの間に、1個の接続基板1101が配置されている。

【0080】このように、1個の接続基板1101の表裏面に、互いに異なる個数の光電変換素子220及び電荷転送基板223を接続することが可能である。従って、使用する光電変換素子220及び電荷転送基板223のサイズのマージンを大きく確保することが可能である。

【0081】また、接続基板1101の数を1個とすることにより、位置ずれが発生しにくく、また、高い機械的強度を確保することができる。

【0082】なお、図12に示す放射線検出装置は、例えば次のような工程により組み立てることができる。先

ず、保護層を形成しない状態で、光電変換素子群220aと接続基板1101とを貼り合わせて接続した後、各光電変換素子220の上部電極（図12に図示せず）同士を互いに接続する。次に、電荷転送基板223と接続基板1101とを貼り合わせて接続する。続いて、電荷転送回路223に予め組み込んでおいた電源に光電変換素子220の上部電極を接続する。そして、光電変換素子220の保護層を形成する。

【0083】図13は、本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置を具備するX線撮像装置を示すブロック図である。このX線撮像装置には、コントロールコンピュータ1101が設けられている。このコントロールコンピュータ1101により光電変換装置1109を含むX線撮像装置の動作が制御される。光電変換装置1109が第1の実施形態に係る放射線検出装置に相当する。また、光電変換装置1109から出力された画像信号を動画又は静止画として加工する画像処理装置1102、及び画像処理装置1102による加工結果を表示するディスプレイ1104が設けられている。画像処理装置1102による加工結果はコントロールコンピュータ1101にも出力される。更に、画像情報及び患者情報等を記録するハードディスク等の外部記録装置1103、管球の設定等の撮影条件及び患者情報等を入力するキーボード等の制御卓1105、X線源1111を駆動するための電源1112、並びにX線源1111にX線を射出させる指示をコントロールコンピュータ1113に出力させるX線射出スイッチ1106が設けられている。また、コントロールコンピュータ1113の指示に基づいて光電変換装置1109の制御を行う制御装置1107、制御回路1107及び光電変換装置1109に必要な電圧を供給する電源1108が設けられている。光電変換装置1109は筐体1110に収納されている。

【0084】次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図14は、本発明の第2の実施形態における接続基板の放射線遮蔽電極の構造を示す模式図である。

【0085】本実施形態においては、接続基板の厚さ方向に垂直な各断面に現れる放射線遮蔽電極214の断面形状が円となり、且つその円の中心が等間隔の格子の交点に一致するようにして放射性遮蔽電極214の位置が設定されている。また、放射線遮蔽電極214が延びる方向は、接続基板の厚さ方向から前記格子の対角線方向に傾斜した方向となっている。従って、平面視において、放射線遮蔽電極214が延びる方向と格子の直線部分が延びる方向とがなす角度が45°となっている。

【0086】第2の実施形態における他の構成要素は、第1の実施形態と同様であるため、その説明は省略する。

【0087】このような第2の実施形態によれば、第1の実施形態と比較して、電荷転送基板223のより一層広い面積の部分を放射線遮蔽電極214により覆うこと

が可能となる。このことは、図14と図15とを比較することにより、容易に理解することができる。図15は、図14と対比して本発明の第1の実施形態における接続基板の放射線遮蔽電極211の構造を示す模式図である。従って、電荷転送基板の放射線照射による損傷を受けずにトランジスタを形成することができる領域に対する制限がより一層小さくなり、トランジスタの大型化及び配線の幅広化等が可能となる。このため、電荷転送回路の性能を向上させることができる。

【0088】次に、第2の実施形態における傾斜角度の範囲について説明する。上述のように、平面視で、格子の対角線方向において隣り合う放射線遮蔽電極214同士が重なり合うようにするためには、第1の実施形態における画素ピッチPを $2^{1/2}$ 倍すればよい。従って、第2の実施形態における傾斜角度 $\theta$ の範囲は、下記数式6で表される。

【0089】

【数6】

$$\theta > \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{2} \times P - 2r}{t} \right)$$

【0090】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明によれば、接続手段の電極により電荷転送基板のトランジスタが形成された領域が覆われるので、放射線によるトランジスタの損傷を防止することができる。接続手段の電極の形状を、バンプメタルとは異なり、放射線の入射方向に対して傾斜した方向に延びるものとするので、電荷転送基板のより広範囲を放射線の照射から保護することができる。特に、電極の傾斜方向及びその角度を適切に規定することにより、電荷転送基板のほとんどの範囲を放射線の照射から保護することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の構造を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態の効果を示す断面図である。

【図3】本発明の第1の実施形態における放射性遮蔽電極の傾斜角度 $\theta$ の範囲を求めるための模式図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の光電変換素子220を製造する方法を工程順に示す断面図である。

【図5】同じく、第1の実施形態に係る放射線検出装置の光電変換素子220を製造する方法を工程順に示す図であって、図4に示す工程の次工程を示す断面図である。

【図6】本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置の接続基板1101を製造する方法を工程順に示す断面図である。

【図7】同じく、第1の実施形態に係る放射線検出装置

の接続基板1101を製造する方法を工程順に示す図であって、図6に示す工程の次工程を示す断面図である。

【図8】第1の実施形態における光電変換素子の動作原理を示す模式図である。

【図9】電荷転送回路の1画素に相当する部分を示す回路図である。

【図10】(a)は、電気信号の読み出し動作を示す回路図であり、(b)は、電気信号の読み出し動作を示すタイミングチャートである。

【図11】図9に示す回路を $3 \times 3$ 画素のマトリクス状に配置した時の構成を示す回路図である。

【図12】本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置を複数の光電変換素子及び電荷転送基板に適用した例を示す模式図である。

【図13】本発明の第1の実施形態に係る放射線検出装置を具備するX線撮像装置を示すブロック図である。

【図14】本発明の第2の実施形態における接続基板の放射線遮蔽電極の構造を示す模式図である。

【図15】図14と対比して本発明の第1の実施形態における接続基板の放射線遮蔽電極211の構造を示す模式図である。

【図16】(a)は、間接型のX線撮像装置を示す模式図、(b)は直接型のX線撮像装置を示す模式図である。

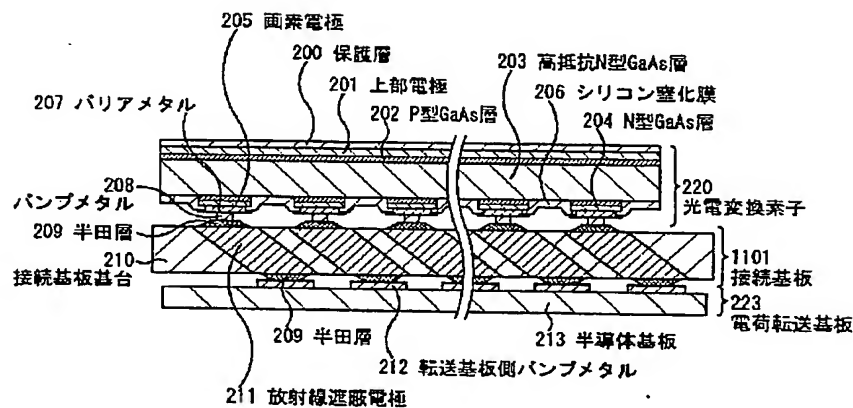
【符号の説明】

11、12；放射線遮蔽電極  
100；X線  
101、107；患者  
102；蛍光体  
103；可視光  
104；光ファイバ  
105；半導体光センサ  
106、109；電荷転送回路  
108；光電変換素子  
200；保護層  
201；上部電極  
202；P型GaAs層  
203；高抵抗N型GaAs層  
204；N型GaAs層  
205；画素電極  
205a；Au膜  
206；シリコン窒化膜  
207；バリアメタル  
208、212；バンプメタル  
209；半田層  
210；接続基板基台  
211、214；放射線遮蔽電極  
213；半導体基板  
220；光電変換素子  
220a；光電変換素子群

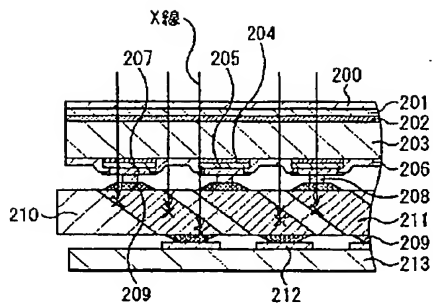
223; 電荷転送基板  
 223a; 電荷転送基板群  
 501; 電子  
 502; 正孔  
 503; 空乏層  
 504; 光電効果で発生した電子  
 505; 光電効果で発生した正孔  
 601; めっき用電極  
 602; レジスト  
 603; マスク  
 604; 金属層  
 605; 絶縁材  
 700; 光電変換素子  
 701; 転送用トランジスタ  
 702; リセットトランジスタ  
 703; ソースフォロアトランジスタ  
 704; 画素選択トランジスタ  
 705; 信号線  
 706; 上部電極  
 707; 電源  
 708、09、710; ゲート線  
 711; リセット電圧

\* 712; 接続部分  
 901; マルチプレクサ  
 902; ADC (アナログ-デジタル変換回路)  
 903; シフトレジスタ  
 904、905、906; オペアンプ  
 907;  $V_s$  電源  
 908; シフトレジスタ  
 909;  $V_{g1}$  電源  
 910;  $V_r$  電源  
 10 911; 電流源  
 1101; 接続基板  
 1102; 画像処理装置  
 1103; 外部記憶装置  
 1104; ディスプレイ  
 1105; 制御卓  
 1106; X線出射スイッチ  
 1107; 制御装置  
 1108; 電源  
 1109; 光電変換装置  
 20 1110; 筐体  
 1111; X線源  
 \* 1112; X線源用電源

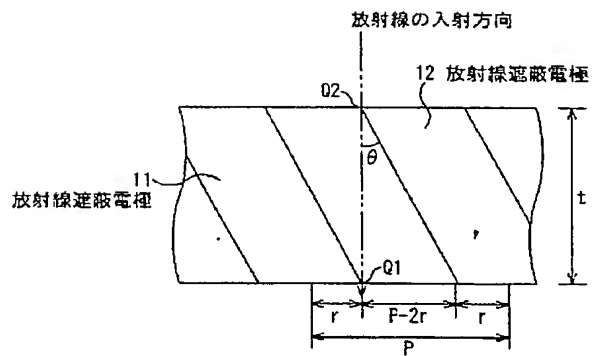
【図1】



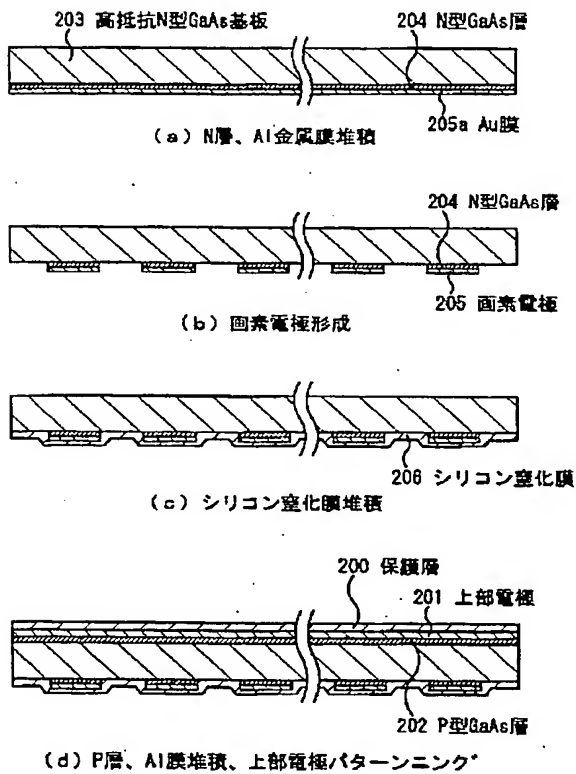
【図2】



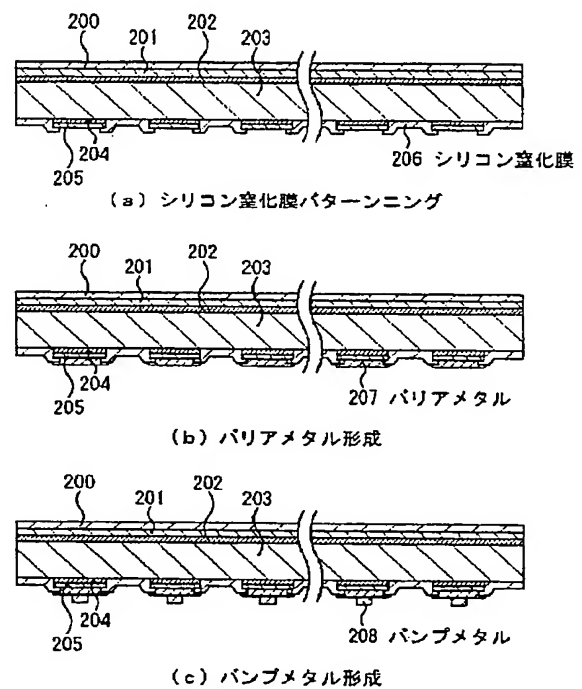
【図3】



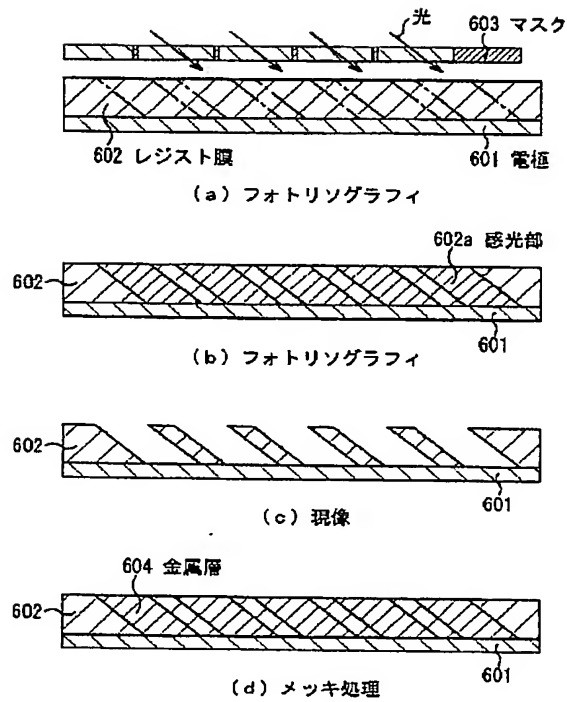
【図4】



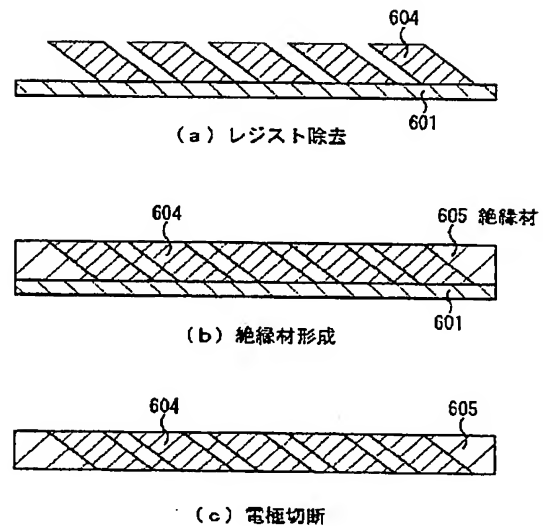
【図5】



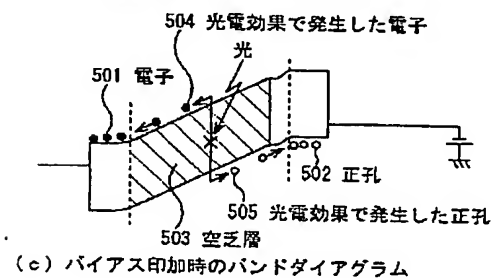
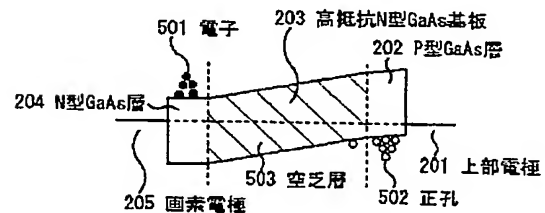
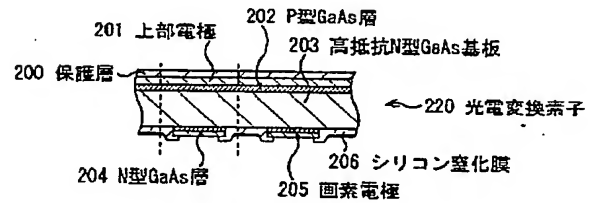
【図6】



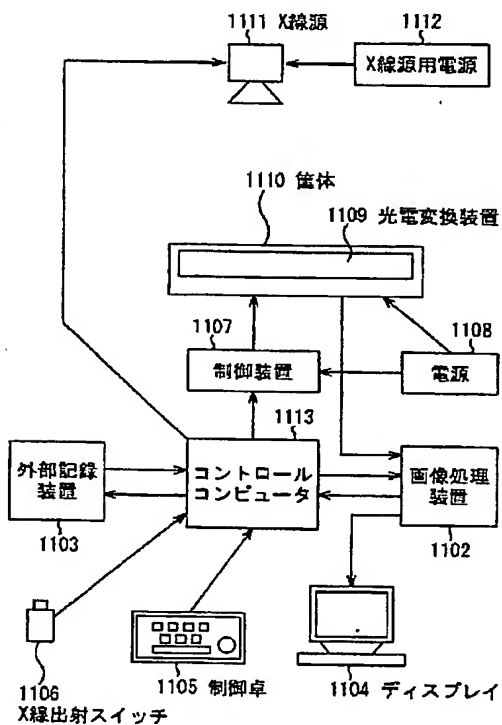
【図7】



【図8】

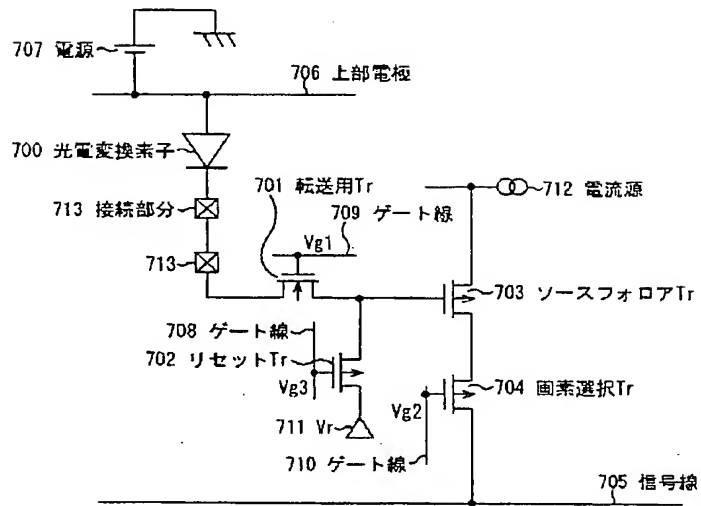


【図13】

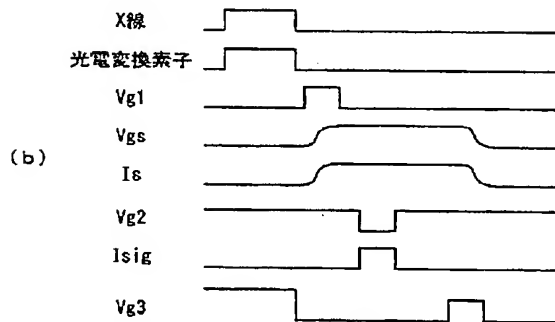
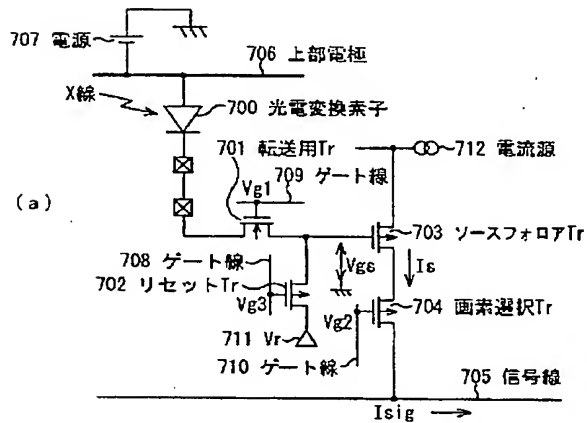




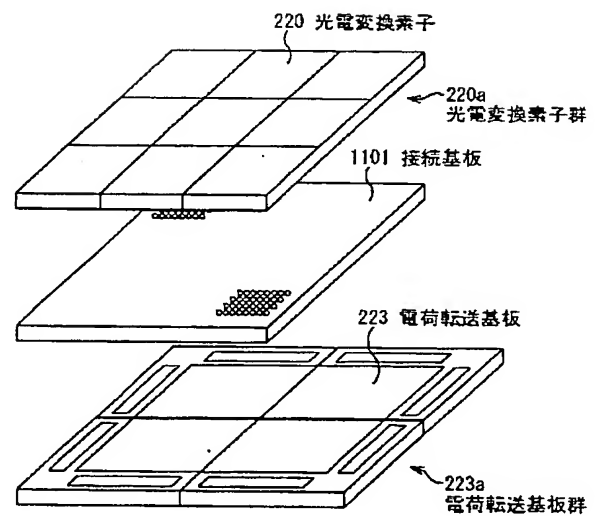
【図9】



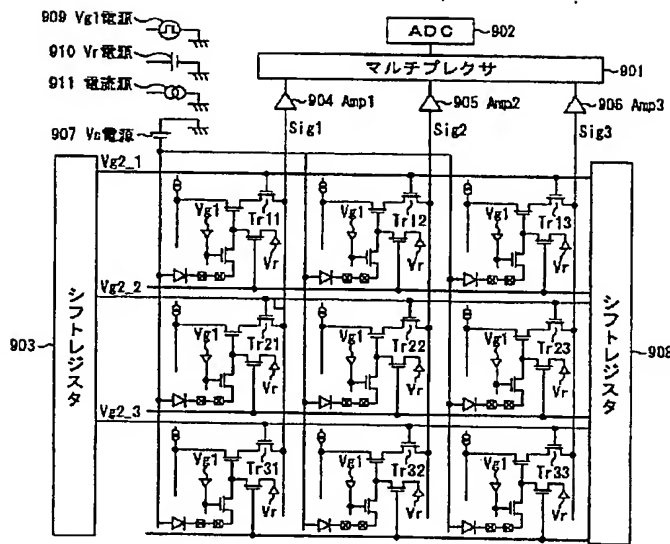
【図10】



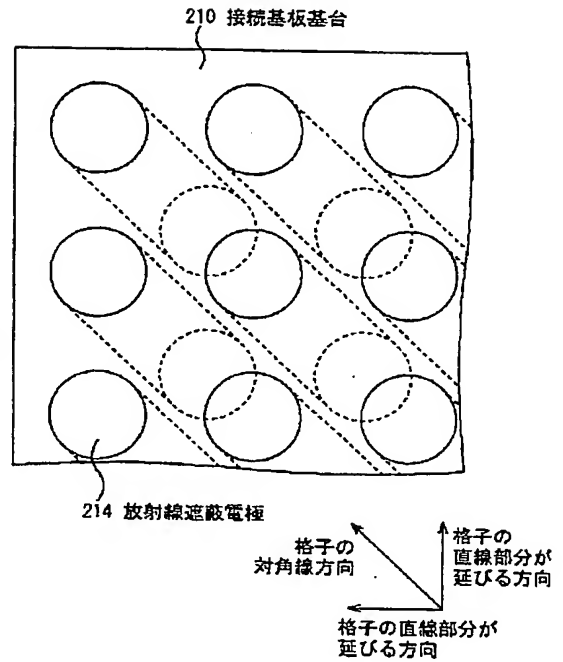
【図12】



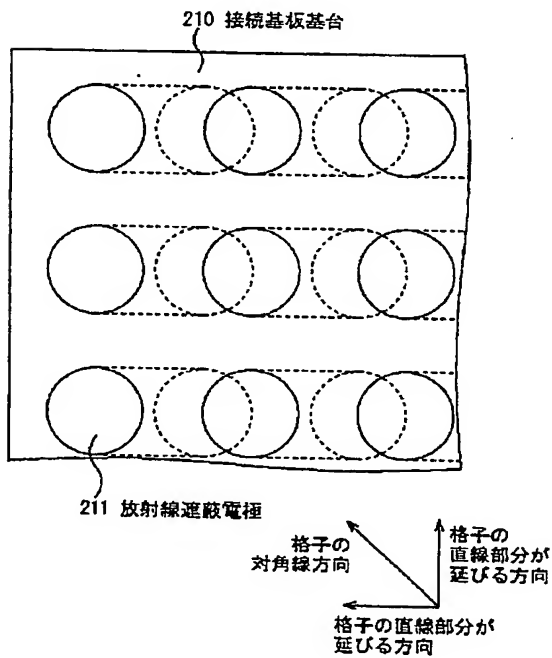
【図11】



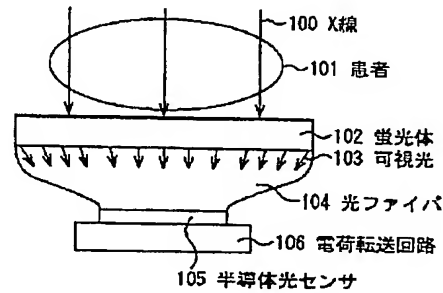
【図14】



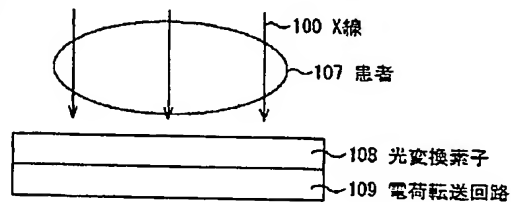
【図15】



【図16】



(a) 間接型



(b) 直接型

## フロントページの続き

(72)発明者 長田 芳幸  
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ  
ノン株式会社内  
(72)発明者 刈谷 卓夫  
東京都大田区下丸子 3 丁目 30 番 2 号 キヤ  
ノン株式会社内

F ターム(参考) 2G088 EE01 FF02 GG21 JJ05 JJ09  
JJ31 JJ37  
4M118 AA01 AA08 AB01 BA14 BA19  
CA05 CA32 CB02 CB14 DD02  
DD12 EA01 EA02 GA10 HA26  
HA31  
5F049 MA04 MB07 PA04 PA07 PA14  
PA15 RA02 RA08 SE05 SE09  
SE17 SS04 UA14 WA07  
5F088 AA03 AB07 BA13 CB04 CB07  
CB14 CB15 DA01 EA04 EA08  
EA16 FA05 FA09 GA05 KA03  
KA08 LA08